

УДК 620.193 / 197 : 621.643

А.С.ДУДОЛАД, В.С.СЕДАК, канд. техн. наук, Л.Н.ПЕЛЬКИНА
ОАО «Харьковгоргаз»

НЕОБХОДИМОСТЬ ЗАЩИТЫ ГАЗОПРОВОДОВ ОТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Освещаются основные представления об электрохимической коррозии металла, принципы и критерии защиты, обоснована необходимость повышения эффективности проведения мероприятий защиты для продления срока службы газопроводов, обеспечения их безопасной и безаварийной работы.

Основной целью деятельности ОАО «Харьковгоргаз» является обеспечение безопасного и безаварийного газоснабжения всех потребителей г.Харькова.

Показателем надёжности и безопасности эксплуатации газопроводов является высокий уровень их технического состояния. Существующая система оценки технического состояния газопроводов и сооружений на них позволяет определить возможность и условия их дальнейшей эксплуатации. Общая оценка технического состояния газопроводов складывается из суммы оценок, характеризующих герметичность газопровода, качество сварных стыков, состояние изоляционного покрытия, состояние металла трубы, уровень коррозионной безопасности и эффективность работы средств защиты от коррозии. Эти показатели не являются обособленными, а находятся в зависимости друг от друга. Так, от состояния изоляционного покрытия зависит уровень коррозионной безопасности и эффективность работы средств защиты, которые, в свою очередь, обеспечивают герметичность газопроводов и надлежащее состояние металла трубы и т. д.

Герметичность газопровода может быть нарушена по трем причинам: от возможных механических повреждений, от разрывов некачественных сварных стыков и от коррозионных повреждений металла трубы. Если утечки газа из-за разрыва сварных стыков или из-за скрытых глубоких механических повреждений трудно предсказать или своевременно выявить (из-за внезапности процесса разрыва тела трубы), то прогноз утечек газа из-за коррозионных повреждений вполне возможен.

Многолетний опыт эксплуатации объектов газовых хозяйств показывает, что наиболее крупные аварии с тяжёлыми последствиями возникают из-за несвоевременного выявления и устранения утечек газа на подземных газопроводах, поэтому задача повышения эффективности защиты газопроводов является актуальной [1]. Анализ утечек

газа на подземных газопроводах ОАО «Харьковгоргаз» за последние годы показывает, что более 60% из них произошло по причине коррозионного повреждения газопроводов (см. рис.1).

В Украине потери от коррозии металлоконструкций составляют 10-15% всего производимого чёрного металла или 4-5% национального дохода [2].

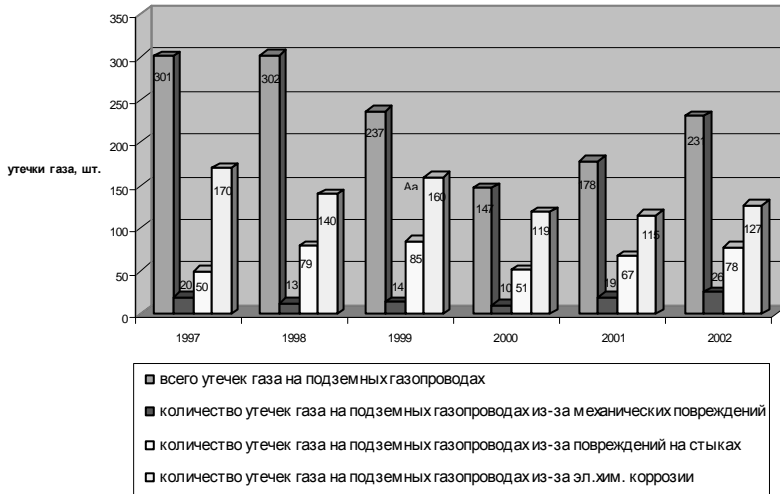


Рис.1– Количество утечек газа на подземных газопроводах г.Харькова

В настоящее время в эксплуатации ОАО «Харьковгоргаз» находится более 4 тыс. км газопроводов, из них:

184 км – с полным амортизационным износом, т.е. 4,4%;

420 км – эксплуатируется более 40 лет, т.е. 10%;

1400 км – эксплуатируется более 30 лет, т.е. 58%;

3400 км – эксплуатируется более 20 лет, т.е. 82%.

и 539 защитных установок, в том числе:

катодных станций – 424;

усиленных дренажей – 54;

поляризованных – 61.

Для газопроводов с большими сроками эксплуатации характерно естественное физическое старение, поэтому они требуют усиленных мер контроля.

Одной из важных задач в эксплуатации газопроводов является

продление срока их службы. Коррозия сокращает срок службы трубопроводов и создаёт аварийные ситуации, повышает эксплуатационные и ремонтные расходы, приводит к тяжёлым экологическим последствиям. Своевременное проведение мероприятий по борьбе с коррозией обеспечивает большой срок эксплуатации газопроводов и сохраняет их нормальный эксплуатационный режим.

Вопросы диагностики коррозионного состояния газопроводов, эффективных мер по их защите от коррозии и возможности продления ресурса газопроводов освещаются в литературе [1-4]. Выводы здесь приблизительно одинаковые: 1) техническое состояние и надёжность газопроводов в значительной мере зависят от состояния антикоррозионной защиты, а именно: от качества изоляционного покрытия и эффективности работы защитных установок; 2) физически и морально устаревшие материалы и оборудование для защиты приводят к постоянному увеличению материальных затрат и затрат электроэнергии.

В настоящей статье показаны механизм и опасная роль коррозии, необходимость повышения эффективности мероприятий по защите от коррозии подземных трубопроводов для продления срока их службы.

Характерной особенностью металлов является их способность подвергаться коррозии. Процесс разрушения металла проходит самопроизвольно, не требуя никаких дополнительных энергетических затрат, даже наоборот, при этом выделяется энергия.

Когда металл корродирует, происходит его "возврат" в состояние руды, т.е. в стабильное природное состояние. В результате процесса коррозии железо переходит в соединения двух- и трёхвалентного железа – оксиды и гидроксиды – в ржавчину. Эти соединения идентичны таким минералам, как магнетит Fe_3O_4 , гематит Fe_2O_3 , лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ [5]. В атмосфере и в почве, там, где есть контакт металла с электролитом, происходит электрохимическая коррозия, т.е. разрушение металла в результате электрохимического взаимодействия металла с электролитом. Этот процесс сопровождается протеканием электрического тока.

Чтобы избежать контакта металла с электролитом, предусматривается его пассивная защита, а именно: покраска надземных участков газопроводов и нанесение изолирующего покрытия на газопроводы, предназначенные для укладки в грунт.

Если повреждения покрытых краской надземных участков газопровода легко контролируются и устраняются, то обнаружение повреждения изоляционного покрытия подземных газопроводов затруднено и возможно только приборным методом контроля (см. рис.2) или

Наиболее сложным является контроль состояния изоляции подземных газопроводов крупного промышленного центра, территория которого насыщена подземными токопроводящими коммуникациями, создающими различные виды промышленных помех. Вскрытие газопроводов методом шурфования часто требует нарушения асфальтового покрытия и изменения маршрутов движения транспорта на период осмотра.



Рис.2 – Приборное обследование состояния газопроводов

Существующие изолирующие покрытия не обладают необходимой сплошностью и не могут обеспечить полную защиту газопроводов. Из-за длительного срока эксплуатации они утрачивают свои диэлектрические свойства, становятся хрупкими, расслаиваются, на них появляются микротрещины, ослабевает адгезия (прилипаемость изоляции к металлу трубы) и т.д. Возможны также механические повреждения изоляционных покрытий при разгрузочно-погрузочных работах, транспортировке, укладке в грунт и засыпке газопровода грунтом, а также при производстве бесконтрольных земляных работ в охранной зоне газопроводов. Чтобы избежать повреждений изоляции при засыпке газопровода грунтом, необходимо проводить подсыпку и присыпку его песком. Кроме того, это исключает возможные механические повреждения тела трубы и создаёт условия для увеличения переходного сопротивления «труба-земля».

Наиболее опасной является сквозная коррозия. Восстановить безопасную эксплуатацию отдельных участков газопроводов со сквоз-

ным коррозионным повреждением возможно только заменой поврежденного участка газопровода (см. рис.3).



Рис.3 – Трубопровод, повреждённый коррозией

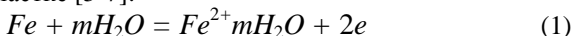
В коррозионно-опасной зоне одной заменой повреждённого участка газопровода не обойтись – одновременно необходимо устанавливать устройства защиты от электрохимической коррозии. Без таких мероприятий по защите коррозионному разрушению будет подвергаться прилегающий к новому, восстановленному после повреждения, старый участок газопровода, изоляция которого утратила часть своих диэлектрических свойств (по сравнению с новой изоляцией).

Из-за неоднородности металла (по структуре и химическому составу) и неоднородности прилегающих грунтов на поверхности трубопровода возникают участки с разными потенциалами, т.е. образуются микро- и макрогальванические коррозионные пары, в результате чего по замкнутой цепи через металл трубы и электролит потечет электрический ток [6, 7].

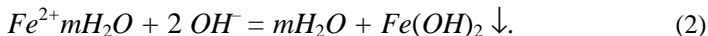
Для анодных участков трубопроводов при наличии мест повреждений изоляции, где ток стекает в грунт, характерно разрушение металла трубы. Чем больше повреждение изоляции и, следовательно, меньше её сопротивление, тем больше сила тока, протекающего между участками сооружения с разными потенциалами и интенсивнее

электрохимическая коррозия подземного сооружения. В местах стекания тока с трубопровода (анодные зоны) происходит вынос ионов металла в электролит, образуются продукты коррозии.

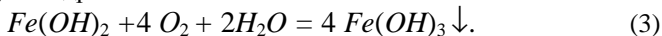
Анодный процесс при электрохимической коррозии заключается в переходе двухвалентного иона железа в грунтовый электролит с последующей гидратацией и образованием некомпенсированных электронов на анодном участке [5-7]:



и дальнейшим связыванием иона Fe^{2+} с ионами OH^- в гидрате закиси железа:



Гидрат закиси, взаимодействуя с растворённым в электролите кислородом, образует гидрат окиси железа



$Fe(OH)_2$ и $Fe(OH)_3$ могут претерпеть дальнейшие изменения с образованием сложных гидратированных окислов $FeO \cdot Fe_2O_3 \cdot mH_2O$ – ржавчины. При этом на катодном участке трубопровода происходит ассимиляция электронов какими-либо ионами или молекулами раствора (деполяризаторами $\equiv D$):



Связь между прокорродировавшей массой металла ΔM и прошедшим количеством электричества q подтверждается законом Фарадея:

$$\Delta M = \frac{1}{F} \frac{A}{z} q, \quad (5)$$

где F – число Фарадея; A – атомная (молярная) масса металла; z – валентность металла.

Величина $K = \frac{1}{F} \frac{A}{z}$ является электрохимическим эквивалентом вещества. Количество электричества $q = It$ определяется силой тока I , протекающего через электролит за время t . Тогда

$$\Delta M = KIt. \quad (6)$$

Электрохимический эквивалент растворения двухвалентного железа составляет $9,1 \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{год}}$, т.е. 1 А тока за 1 год выносит 9,1 кг металла [6].

Электрохимическая коррозия металлов связана с их термодинамической неустойчивостью при наличии внешних коррозионных условий. Возможность самопроизвольного протекания или, другими словами, движущая сила процесса электрохимической коррозии определяется знаком изменения свободной энергии процесса. Изменение свободной энергии реакции характеризуется изменением изобарно-изотермического потенциала [6]:

$$\Delta G = -nFE, \quad (7)$$

где n – число грамм-эквивалентов; F – число Фарадея; E – э.д.с. гальванического элемента, в котором обратимо осуществляется данный коррозионный процесс.

Э.д.с. гальванического элемента является разностью обратимых потенциалов катодной реакции в условиях $(V_K)_{обр}$ и обратимого потенциала металла (или анодной составляющей сплава) в условиях $(V_a)_{обр} \equiv (V_{Me})_{обр}$:

$$E = (V_K)_{обр} - (V_a)_{обр}. \quad (8)$$

Самопроизвольное протекание коррозионных процессов возможно, если соблюдается условие убыли изобарно-изотермического потенциала: $\Delta G < 0$. Тогда $(V_a)_{обр} \equiv (V_{Me})_{обр} < (V_K)_{обр}$, т.е. для электрохимического растворения металла необходимо присутствие в электролите окислителя, обратимый потенциал которого положительнее обратимого потенциала металла в данных условиях [6]. При соблюдении этого условия $E > 0$, а $\Delta G < 0$. Коррозионный процесс невозможен при $\Delta G > 0$. Система находится в равновесии при $\Delta G = 0$.

Общее термодинамическое уравнение электрохимической системы имеет вид [6, 7]:

$$E = E^0 + 2,303 \frac{RT}{nF} \lg \frac{a_A^{v_A} a_B^{v_B} \dots}{a_L^{v_L} a_M^{v_M} \dots}, \quad (9)$$

где E^0 – стандартная э.д.с. электрохимической системы для активных участвующих в реакции веществ $a_i = 1$:

$$E^0 = -\frac{RT}{nF} \ln K. \quad (10)$$

Здесь K – термодинамическая константа равновесия; F – число Фарадея; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура; a_i – активности участвующих в процессе веществ.

Э.д.с. любой обратимой электрохимической системы является функцией стандартной э.д.с. и активностей участников электрохимической системы.

Уравнение для электродного потенциала имеет тот же вид, что и общее термодинамическое уравнение для э.д.с. электрохимической системы с той лишь разницей, что в него входят активности веществ, участвующих в данной реакции. Так, установившийся при достижении равновесия обратимый потенциал металла $(V_{Me})_{обр}$, являющийся разностью потенциалов металла φ_{Me} и раствора φ_p , может быть рассчитан по выражению [7]

$$(V_{Me})_{обр} = \varphi_{Me} - \varphi_p = (V_{Me})^0_{обр} + \frac{RT}{nF} \ln a_{Me^{n+}}, \quad (11)$$

где $(V_{Me})^0_{обр}$ – стандартный электродный потенциал при активностях каждого из участников электродной реакции $a_i = 1$.

При электрохимической коррозии, когда в обмене участвуют не только ионы данного металла, но и другие ионы или атомы, причём анодный процесс осуществляется в основном ионами металла, а катодный – другими ионами, процесс является необратимым и не подчиняется термодинамическому уравнению (5), поэтому не может быть по нему рассчитан, а определяется только опытным путём. Установившийся на металле потенциал также не будет равновесным (обратимым). Величина необратимого электродного потенциала определяется скоростью протекания электродных процессов – анодного и катодного, также не может быть рассчитана термодинамически и определяется только опытным путём [6].

Устойчивое во времени значение необратимого электродного потенциала металла, соответствующее равенству сумм скоростей анодных и катодных процессов, называют *стационарным потенциалом металла или потенциалом коррозии* [7]. Применительно к подземным трубопроводам стационарный потенциал – это потенциал металлического сооружения, измеренный относительно электрода сравнения при отсутствии блуждающих токов поляризации от внешних источников тока [8].

Скорости анодного и катодного процессов, протекающих с уча-

ствием свободных электронов, зависят от величины электродного потенциала металла. Величина необратимых электродных потенциалов металла, в том числе стационарных, определяется как внутренними (структура металла, его физико-химические свойства, состояние поверхности и т.д.), так и внешними (состав электролита, концентрация ионов в растворе, тип изоляционного покрытия и т. д.).

По опытным данным стационарные потенциалы $U_{ст}$ стальных трубопроводов в грунте в зависимости от марки стали, типа изоляционного покрытия и характеристик грунта находятся в пределах от (- 0,3 ÷ - 0,4) В до (- 0,7 ÷ - 0,8) В (здесь и далее все значения потенциалов трубопроводов приведены по отношению к насыщенному медносульфатному электроду сравнения) [6]. Измерения стационарных потенциалов подземных газопроводов в г. Харькове показали значения в различных районах города от - 0,4 В до - 0,7 В.

Электрохимическое растворение металла состоит из трёх основных одновременно протекающих процессов [6, 7]: анодного (1); катодного (4) и перетекания электронов по металлу, т.е. электрохимическая реакция сопровождается отдачей или получением электронов. Высвободившиеся на анодном участке электроны используются в реакции восстановления на катодном участке.

Чтобы остановить процесс коррозии, нужно создать условия, тормозящие его. Поскольку скорость коррозии зависит от электродных потенциалов, таким тормозящим процессом является смещение электродных потенциалов с помощью внешнего источника тока или в результате работы гальванического элемента.

Смещение стационарного электродного потенциала наложенной плотностью тока называют *поляризацией*. Поляризация является следствием отставания электродных процессов от перетока электронов в источнике тока или гальваническом элементе. Таким образом, для анодного участка металла трубопровода значительно снизить скорость коррозии можно, смещая электродный стационарный потенциал сооружения к более низкому значению, т.е. сообщая ему отрицательную (катодную) поляризацию [6, 7].

Основной принцип защиты подземных металлических трубопроводов от электрохимической коррозии заключается в катодной поляризации металла трубы от внешнего источника тока или соединении с металлом, имеющим более отрицательный потенциал (чем у защищаемого металла), при которой скорость коррозии уменьшается или практически прекращается [6, 7].

Критерием катодной защиты подземных стальных трубопроводов является поддержание необходимого защитного поляризационного

потенциала $U_{пол}$ в пределах от -0,85 В до -1,15 В [8]. При отсутствии возможности измерения поляризационного потенциала допускается осуществлять катодную поляризацию при значениях измеренной разности потенциалов $U_{изм}$ от -0,9 В до -2,5 В [8].

$$U_{изм} = U_{пол} + U_{ом}, \quad (12)$$

где $U_{ом}$ – потенциал, обусловленный падением напряжения на участке цепи между металлом трубы и медносulfатным электродом сравнения.

Такие ограничения защитного потенциала обусловлены, с одной стороны, минимально необходимым смещением потенциала коррозии (стационарного потенциала) в отрицательную сторону, при котором скорость коррозии стали уменьшается до технически допустимой, с другой – максимально допустимым смещением потенциала, за пределами которого возможно разрушение изолирующего покрытия трубопровода (отслоение, нарушение адгезии) под воздействием выделяющегося газообразного водорода. С учетом этого при катодной защите потенциал трубопровода необходимо поддерживать и контролировать в определённой области значений [6].

Нормативный проектный ресурс стальных газопроводов составляет 30-40 лет. Амортизационный ресурс многих газопроводов у нас исчерпан или близок к этому. Только в Харькове 604 км таких газопроводов. Выполнить перекладку такого количества газопроводов либо их санацию или реновацию с помощью полиэтиленовых технологий технически и финансово очень сложно. На сегодняшний день актуален поиск резервов продления срока службы газопроводов.

По результатам технического обследования и паспортизации газопроводов, которые проводит ОАО «Харьковгоргаз» с 2000 г. согласно [9], можно утверждать, что большинство газопроводов с исчерпанным сроком амортизации находятся в удовлетворительном состоянии и имеют довольно значительный ресурс, т.е. пригодны для дальнейшей эксплуатации.

Возможность продолжения нормативного ресурса действующих газопроводов, надёжность их дальнейшей эксплуатации зависят от высоких оценок технических характеристик газопроводов и суммы оценок в целом [9]. Такие характеристики, как герметизация газопроводов, состояние металла трубы и качество сварных соединений напрямую связаны со степенью коррозионной безопасности трубопроводов.

Создание катодной поляризации является необходимым условием защиты газопроводов от коррозии. Затраты на обустройство средств

защиты и на их эксплуатацию ниже затрат, требуемых на перекладку (полную замену) газопроводов в случае сквозных коррозионных повреждений. Отсутствие защитного потенциала на трубопроводах может привести к необходимости полной замены участков газопроводов протяжённостью от нескольких десятков до нескольких сот метров и расходы на ремонт в этом случае будут соизмеримы со стоимостью основных фондов. Оценить же ущерб от возможных последствий аварий, связанных с утечкой газа из газопроводов, – задача некорректная, так как цена может перейти из категории денежной в бесценную – человеческую жизнь.

Проблемы продления срока службы газопроводов и обеспечения безопасного и безаварийного газоснабжения потребителей во многом зависят от эффективности мероприятий по защите газопроводов от электрохимической коррозии. Своевременно проведённая высокотехнологическая диагностика коррозионного состояния газопроводов с помощью регистрирующих приборов с программным обеспечением позволяет определить наличие и степень опасности коррозионных процессов на трубопроводах, предсказать их коррозионное поведение в дальнейшем и принять эффективные меры по их защите. В конечном итоге это обеспечит безаварийное и безопасное газоснабжение потребителей, продлит срок службы газопроводов и позволит избежать нарушения природного экологического баланса.

1. Беккер М.В., Шишківський В. А., Гужов Ю.П., Кацан І.П., Гаврильцев В.Б. Протикорозійний захист об'єктів газотранспортної системи ДК "Укртрансгаз": проблеми й програма розвитку // Нефть і газ. – 2002. – № 5 (41). – С.36-39.

2. Королёв В.И., Волкова И.А., Шелихова Е.В. Экспертное диагностирование коррозионного разрушения при определении остаточного ресурса строительных металлоконструкций в коррозионных средах // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2002. – №2. – С.6-10.

3. Ориняк І.В., Розгонюк В.В., Тороп В.М., Білик С.Ф. Ресурс, довговічність і надійність трубопроводів. Огляд сучасних підходів і проблем нормативного забезпечення в Україні // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – № 4. – С.54 –57.

4. Будзуляк Б.В., Тычки И.А., Ремизов В.В., Тухбатуллин Ф.Х., Петров Н.А. Эффективная защита объектов от коррозии // Газовая промышленность. – 2002. – №1. – С.66-69.

5. Маттссон Э. Электрохимическая коррозия / Пер. со швед. – М: Металлургия, 1991. – 158 с.

6. Стрижевский И.В., Зиневич А.М., Никольский К.К. и др. Защита металлических сооружений от подземной коррозии: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Недра, 1981. – 293 с.

7. Розгонюк В.В., Гужов Ю.П., Кузьменко Ю.О., Шишківський В.А. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів. – К.: Росток, 2000. – 286 с.

8. ГОСТ 9.602-89*. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. Введено с 01.01.91 г. Срок дейст-

вия до 01.01.96 г. Группа Т96. Изменение №1. Введено с 01.07.95 г. // Межгосударственные стандарты.

9.Правила обследования, оценки технического состояния, паспортизации и проведения планово-предупредительных ремонтов газопроводов и сооружений на них: Утверждено приказом Госкомстроя от 9 июня 1998 г. №124. Зарегистрировано в Минюсте Украины 13 ноября 1998 г. №723/3163. – К., 1998. – 61 с.

Получено 13.10.2003

УДК 696.2

І.І.КАПЦОВ, д-р техн. наук, І.Г.ЖИГАНОВ

Харківська державна академія міського господарства

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ ХАРКІВСЬКОГО РЕГІОНУ

Розглядається сучасний стан газової галузі Харківського регіону. Визначаються напрямки розвитку та даються пропозиції щодо удосконалення системи газопостачання регіону.

Система газопостачання Харківського регіону – це єдиний комплекс, що являє собою багаторівневу (ієрархічну) структуру, яка має розподільну мережу газопроводів тієї чи іншої складності на кожному рівні ієрархії. Рівні зв'язані між собою регуляторами тиску газу (ГРС, ПРП, ГРП), що забезпечують заданий режим газопостачання в розподільній мережі нижнього рівня. Основні завдання, поставлені перед системою газопостачання, такі:

безперебійне постачання газу споживачеві;

підтримка оптимального тиску газу в споживача.

Поставка газу в Харківський регіон в основному здійснюється з двох родовищ: Шебелинського та Юліївського ГКР по системі магістральних газопроводів (рис.1):

1) Шебелинка – Белгород – Курськ - Брянськ (ШБКБ) Ду 700 і Ду 800 (крани на кордоні між Україною і Російською Федерацією в даний час закриті);

2) Шебелинка - Харків Ду 1000 до ГРС-4 в с.Бабаї і ГРС-1 в с.Безлюдівка;

3) по відводу Ду 700 від ШБКБ на 96 км до ГРС-2 (в с.Руська Лозова) і до ГРС-5 (західніше м.Харкова) – до ТЕЦ-5;

4) по газопроводу Юліївське ГКР – ГРС-5 Ду 400 і Ду 300.

Крім того, в осінньо-зимовий період у Харківський регіон подається імпортований газ з Російської Федерації по газопроводу Острогоржськ - Шебелинка Ду 1000 і Ду 1200 через шебелинський вузол МГ і далі по ШБКБ.